T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI

YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİ

SEHPA ÜZERİNE PANELLERİN MONTAJI

Ankara, 2013

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.

- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.

- PARA İLE SATILMAZ.

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR ii
GİRİŞ 1
ÖĞRENME FAALİYETİ–1 3
1. GÜNEŞ PANELLERİNİN YAPISI VE DİZİLİMİ 3
1.1. Güneş Panellerinin Yapısı ve Çeşitleri 3
1.2. Panel Gruplandırma Hesabı 8
1.3. Panel Yerleşimi 10
UYGULAMA FAALİYETİ 13
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 15
ÖĞRENME FAALİYETİ-2 16
2. PANEL KABLOLAMASI 16
2.1. Panel Kablo Seçimi 16
2.2. Panel Kol Bağlantıları 19
UYGULAMA FAALİYETİ 23
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME 25
MODÜL DEĞERLENDİRME 26
CEVAP ANAHTARLARI 27
KAYNAKÇA 28

AÇIKLAMALAR

ALAN	**Yenilenebilir Enerji Teknolojileri**
DAL/MESLEK	**Ortak Alan**
MODÜLÜN ADI	**Sehpa Üzerine Panellerin Montajı**
MODÜLÜN TANIMI	Bu modül, hazırlanmış olan güneş paneli sehpası üzerine güneş panellerinin kurulması ile ilgili bilgilerin kazandırıldığı bir öğrenme materyalidir.
SÜRE	40/16
ÖN KOŞUL	Bu modülün ön koşulu yoktur.
YETERLİK	Sehpa üzerine güneş panellerinin kurulmasını yapmak
MODÜLÜN AMACI	**Genel Amaç** Projede belirlenmiş olan dizilime göre panelleri yerleştirerek panel kablo geçişlerini yapabileceksiniz. **Amaçlar** **1.** Uygun ekipman kullanarak güneş panellerinin sehpalara montajını yapabileceksiniz. **2.** Uygun araç gereç kullanarak panellerin kablo geçişlerini yapabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	**Ortam**: Yenilenebilir enerji sistemleri atölyesi **Donanım**: Merdiven, matkap, el breyzi, pusula, su terazisi, el aletleri, açı ölçer, kablo pensi, pense, yan keski, kablo konnektörü, koruyucu eldiven ve gözlük
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı (çoktan seçmeli test, doğru-yanlış testi, boşluk doldurma, eşleştirme vb.) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.

GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

Bu modül ile Yenilenebilir Enerji Teknolojileri alanında mesleğiniz ile ilgili konulardan biri olan sehpa üzerine güneş panellerinin montajını öğreneceksiniz.

Bu modülü aldığınızda güneş panellerinin yapısı ve çeşitleri, panel gruplandırma hesabı, panel yerleşimi, panel kablo seçimi ve panel kablolama yapmayı öğreneceksiniz.

İşletmelere staj için gittiğinizde güneş panellerinin montajının ne kadar önemli olduğunu göreceksiniz.

Bu modülü başarıyla tamamladığınızda mesleki yeterliliğinizi daha da artırarak sektörün istediği vasıflarda bir eleman olacaksınız.

ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Gerekli ortam ve ekipman sağlandığında sehpa üzerine güneş paneli yerleşimini yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Güneş panelleri yapısı hakkında bilgi toplayınız.
- Güneş panelleri çeşitlerini araştırınız.

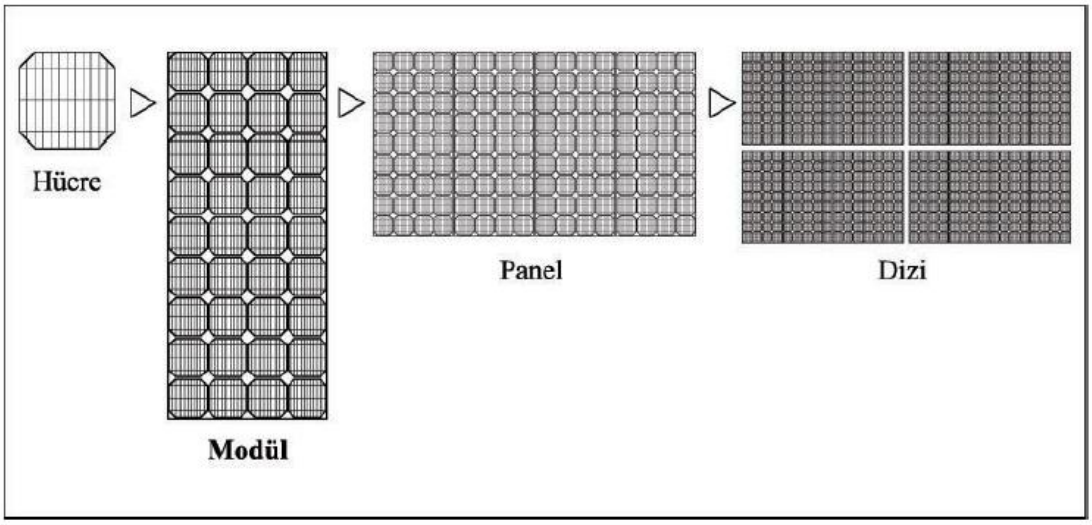
1. GÜNEŞ PANELLERİNİN YAPISI VE DİZİLİMİ

1.1. Güneş Panellerinin Yapısı ve Çeşitleri

Fotovoltaik (PV) sözcüğü Yunanca ışık anlamına gelen "photos" ve elektriğin öncüsü Alessandro Volta'dan gelen "voltaic" sözcüklerinin birleşmesinden gelmektedir. Güneş pilleri, bir diğer adıyla fotovoltaikler, güneş ışınımını doğrudan elektrik akımına çeviren yarı iletken devre elemanlarıdır.

Güneş panelleri (PV modüller) sistemin en önemli parçasıdır. Güneş (PV) hücreleri, güneşten aldıkları enerjiyle elektrik üreten yarı iletken malzemelerden üretilmişlerdir. Kalınlıkları mikronmetreyle ölçülecek kadar ince olan bu hücrelerin boyutları genelde kare, dikdörtgen veya daireseldir. Tek bir PV hücreden elde edilen enerji oldukça azdır. Bu nedenle hücreler seri veya paralel bağlanarak modülleri, modüller de birleşerek panelleri oluşturur. Büyük miktarlarda elektrik üretmek için paneller de birbirine bağlanarak solar PV dizisini meydana getirir (Resim 1.1).

Güneş pili modüllerinin üretiminde kullanılan başlıca maddeler; kristal silisyum, galyum arsenit, amorf silisyum, kadmiyum tellürid ve bakır indiyum diseleniddir.



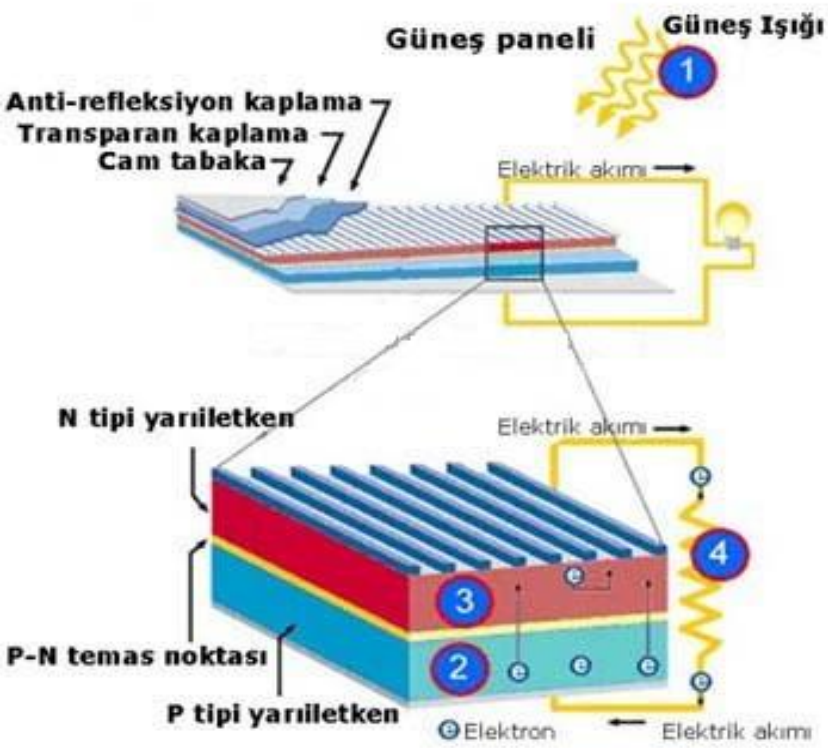
Resim 1.1: Güneş pili panel oluşum prensibi

Güneş pili hücrelerinin üst tabakaları çatlamaların, kırılmaların ve enerji kaybının önlenmesi için yansımayı önleyici kaplama ve korumalardan oluşur. Bu katmanların altında ise N tipi ve P tipi yarı iletken maddeler bulunur. N ve P tipi maddeler yarı iletken maddelerin eriyik hâlindeyken istenilen maddeler ile kontrollü olarak katkılandırılması sonucu oluşur. Güneş pillerinde yarı iletken madde olarak çoğunlukla çok kristalli silisyum kullanılmaktadır.

Aşağıdaki resimde güneş pillerinin yapısı ve çalışması şematik olarak gösterilmiştir (Resim 1.2).

Güneş pilinin çalışma prensibi aşağıdaki gibidir:

- Güneş ışığı güneş pili üzerine düşer ve fotovoltaik hücreler tarafından absorbe edilir. Güneş pilinde çok elektrona sahip P tipi yarı iletken madde ve az elektrona sahip N tipi yarı iletken madde bulunur.
- Güneş ışığı P tipi yarı iletken maddeden elektron koparır.
- Enerji kazanan elektronlar N tipi yarı iletken maddeye doğru akarlar.
- Bu sabit tek yönlü elektron akışı doğru akımı (DC) yaratır. Elektronlar kurulan devreler boyunca akarak farklı alanlarda kullanılır ve P tipi yarı iletken maddeye geri döner.



Resim 1.2: Güneş pilinin yapısı ve çalışma prensibi

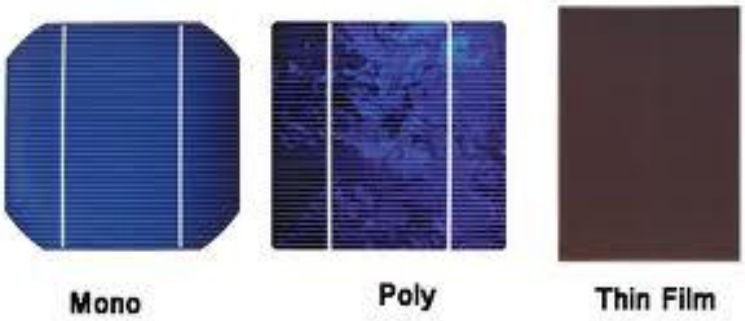
Güneş panelleri, üretim teknolojilerine göre aşağıdaki gibi çeşitlendirilebilir:

- **Birinci nesil güneş panelleri** (Tek kristal ya da multikristal silisyum pul (wafer) teknolojisi)

- **İkinci nesil güneş panelleri** (Amorf silisyum (a-Si), Multikristal silisyum ince film (mc-Si), Cadmium telluride (CdTe), Copper indium gallium diselenide (CIGS) alaşım)

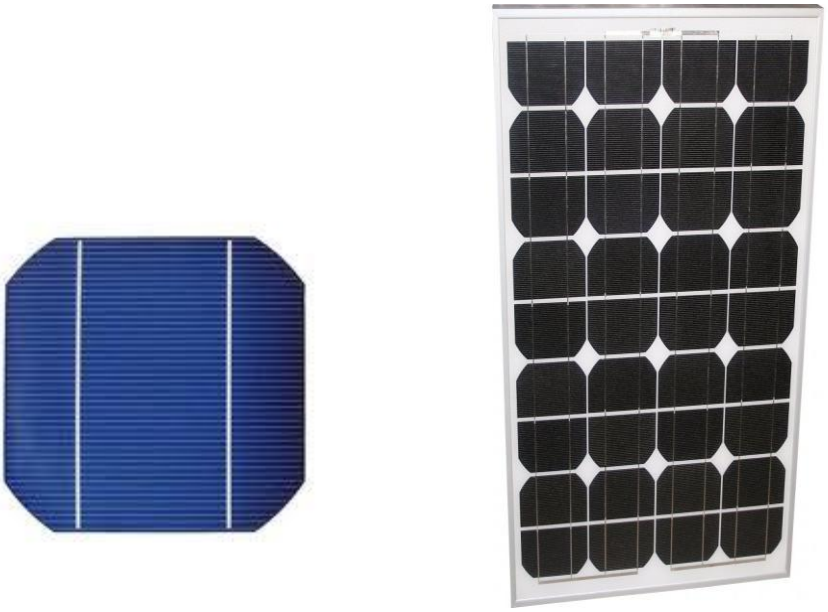
- **Üçüncü nesil güneş panelleri** (Çoğu henüz fikir aşamasındadır) (Nanokristal tabanlı güneş hücreleri, Photoelectrochemical (PEC) hücreler, Gräetzel hücreleri, Polimer tabanlı hücreler, Boya ile duyarlı hâle getirilmiş hücreler [Dye sensitized solar cell (DSSC)(DSSC piyasaya çıkmaya başladı.)]

Güneş panelleri, üretim şekillerine göre gruplandırıldığında en yaygın olanları; monokristalin, polikristalin ve ince film (amorf silikon, thin film) paneller olmak üzere üçe ayrılır (Resim 1.3).



Resim 1.3: Güneş pili hücre çeşitleri

Monokristalin güneş panelleri: Monokristalin güneş panellerinde malzemenin atomik yapısı homojendir. Monokristalin güneş pilleri verimlilik kapasitesi diğerlerine göre en yüksek olan %15-%20 arası güneş pili çeşididir. Monokristalin güneş panellerinin üretimi teknik açıdan daha zor olduğundan ve daha çok zaman aldığından bu tip güneş panellerinin fiyatları da diğer güneş panelleri çeşitlerinden daha yüksektir. Ancak uzun süreli kullanımlar için düşünüldüğünde monokristalin güneş panelleri dayanıklılık ve verimlilik açısından daha iyi bir seçenek olacaktır (Resim 1.4).



Resim 1.4: Monokristalin hücre ve panel

Polikristalin güneş panelleri: Polikristalin güneş panellerinde malzeme birçok monokristalden oluşur ve atomik yapı homojen değildir. Polikristalin güneş panellerinin verimlilik kapasitesi yaklaşık %14-%16 arası olup monokristalin güneş panellerine göre

daha düşüktür. Kalite ve verimlilik açısından polikristalin güneş pilleri monokristalin olanlardan biraz daha düşük verimli hücreler ile üretilmiştir. Buna rağmen kullanım alanı daha yaygındır. Bunun en büyük nedeni daha kolay ulaşılabilir ve buna bağlı olarak daha uygun fiyatla bulunabilmesidir. Polikristalin güneş panellerinin maliyeti monokristalin güneş pillerinden daha düşük olduğu ve verimlilik kapasitelerinin maliyete oranı yüksek olduğu için bu tip güneş panelleri en sık üretilen güneş panelleridir (Resim 1.5).

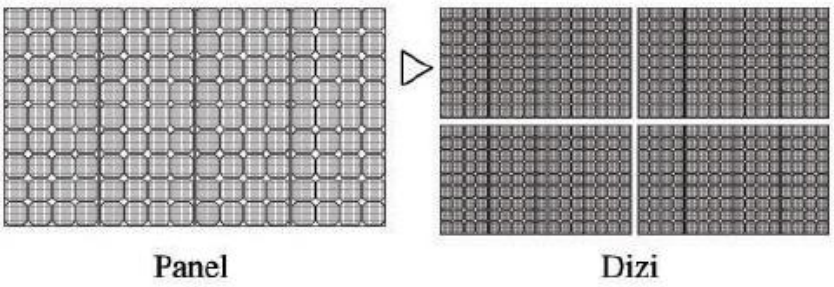
Resim 1.5: Polikristalin hücre ve panel

İnce film (amorf silikon) güneş panelleri: Işık yutma oranı yüksek olan bu hücreler, düşük verimlilikleri nedeniyle pazar payının küçük bir bölümünü oluşturur. Amorf silikon güneş panelleri kristal yapılı olmayan güneş panelleridir. Amorf güneş panellerinin yapısı nedeniyle verimlilik kapasiteleri %5 ile %10 aralığında diğer güneş panellerine göre düşük olan değerlere sahiptir (Resim 1.6).

Resim 1.6: İnce film (amorf silikon) hücre ve panel

1.2. Panel Gruplandırma Hesabı

Büyük miktarlarda elektrik üretmek için paneller birbirine bağlanarak solar PV dizilerini meydana getirir (Resim 1.7). Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

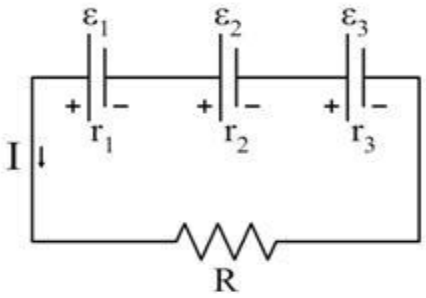


Resim 1.7: Güneş panellerinden güneş dizisi oluşumu

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş paneli birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak birkaç Watt'tan megaWatt'lara kadar sistem oluşturulur.

- **Panellerin seri bağlantısı**

Şekildeki devrede görüldüğü gibi EMK'ları ε_1, ε_2, ε_3 ve iç dirençleri r_1, r_2, r_3 olan panellerin birinin (+) ucu, diğerinin (-) ucuna birleştirilerek yapılan bağlamaya seri bağlama denir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Seri bağlama

Seri bağlı güneş panellerinde;

- Potansiyel farkı, panellerin potansiyel farkları toplamına eşittir.

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

- Bütün panellerden geçen akımın değeri aynıdır.

$$I = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{R + r_1 + r_2 + r_3} \qquad I = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R}$$

Devredeki panellerin t kadar zamanda verdiği enerjiler toplamı, bu panellerin yerine geçen eş değer modülün aynı zamanda verdiği enerjiye eşittir.

Örnek 1.1: Her biri 8 voltluk 3 tane güneş paneli seri olarak bağlanmıştır. Güneş dizisinin verebileceği toplam gerilimi bulunuz.

$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 8 + 8 + 8 = 24$ volt

Örnek 1.2: Birbirine seri bağlı üç tane güneş panelin iç direnci 0,2 Ω'dur. Toplam iç direnci bulunuz.

$r_{iT} = r_1 + r_2 + r_3 = 0{,}2 + 0{,}2 + 0{,}2 = 0{,}6$ Ω'dur.

Örnek 1.3: Birbirine seri bağlı 8 voltluk üç tane panelin iç direnci toplamı 0,9 Ω'dur. Seri bağlı üç panelin uçlarına bağlı lamba 3 Amper akım çekerse lamba uçlarına düşen gerilim kaç volttur?

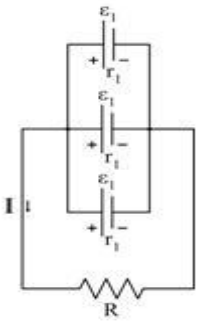
Üç panel üzerinde iç dirençlerden kaynaklanan kayıp gerilim (U_r):

$U_r = R_{rT} \times I$
$U_r = 0{,}9 \times 3 = 2{,}7$ volt

$U_L = U_P - U_r = (3 \times 8) - 2{,}7 = 24 - 2{,}7 = 21{,}3$ volt olarak bulunur.

- **Panellerin paralel bağlantısı**

EMK'ları ε_1 ve iç dirençleri r_1 olan n tane panelin (+) ve (-) kutuplarının Şekil 1.2'deki gibi kendi aralarında birleştirilerek yapılan bağlantıya paralel bağlantı denir.



Şekil 1.2: Paralel bağlantı

Paralel bağlamada panellerin EMK'leri eşit olmalıdır. Aksi takdirde R direncinden geçmesi gereken akım EMK'leri küçük olan ara devrelerden geçerek istenmeyen durumlara neden olabilir.

Devredeki panellerin t kadar zamanda verdiği enerjiler toplamı, bu panellerin yerine geçen eş değer modülün aynı zamanda verdiği enerjiye eşittir. Paralel bağlı panel devresinde eş değer EMK, panellerin birinin EMK'ine eşittir.

$$\varepsilon = \varepsilon_1$$

EMK'leri ε_1 ve iç dirençleri r_1 olan özdeş n tane panel paralel bağlanırsa eş değer direnç,

$$r_{eş} = \frac{r_1}{n} \quad \text{olur.}$$

- Devreden geçen akım şiddeti,

$$I = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R} = \frac{\varepsilon}{R + \frac{r_1}{n}} \qquad \text{olur.}$$

Bir devrede hem paralel hem de seri bağlı paneller bulunuyorsa bu tür bağlamaya karışık bağlama denir. Böyle devrelerde paralel ve seri bağlı kısımlardaki eş değer panellerin EMK ve iç direnci hesaplanır. Sonra devreden geçen akım şiddeti bulunur.

Örnek 1.4: Birbirine paralel bağlı 12 voltluk 3 panelin her birinin iç direnci 0,3 Ohm'dur. Buna göre modül devresinin toplam gerilimini ve panellerin iç dirençleri toplamını bulunuz.

$\varepsilon = \varepsilon_1$ olduğundan toplam gerilim 12 volttur.

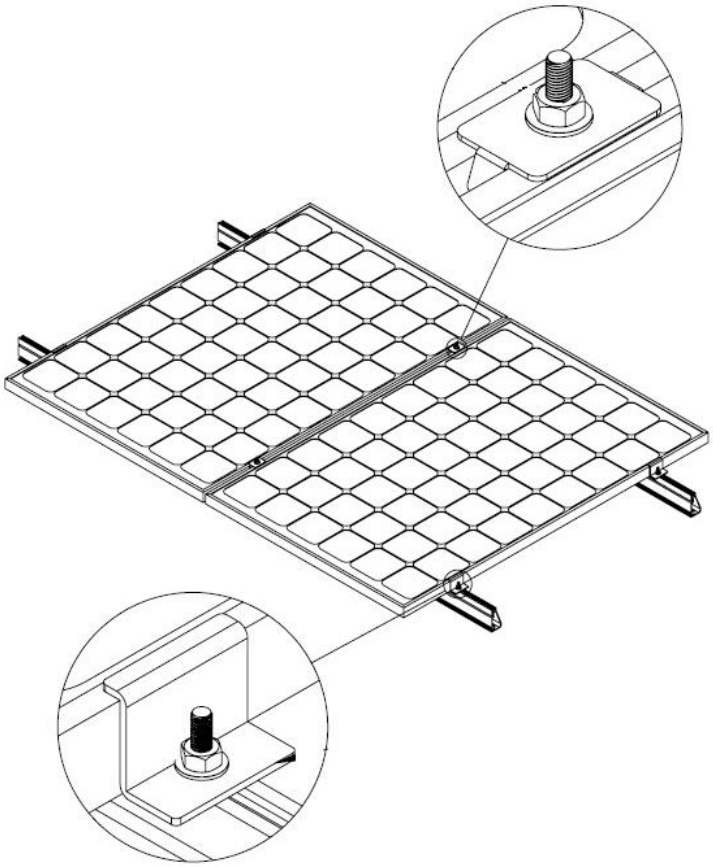
$$\frac{1}{r_{eş}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} = \frac{1}{0,3} + \frac{1}{0,3} + \frac{1}{0,3} \Rightarrow r_{eş} = 0,1\ \Omega \text{ veya}$$

$$r_{eş} = \frac{r_1}{n} = \frac{0,3}{3} = 0,1\ \Omega \text{ olarak bulunur.}$$

1.3. Panel Yerleşimi

Yapılarda ve açık alanlarda güneş panel sisteminin hazırlanması modüllerinde panelin yerleştirileceği sehpa, yön ve açı ayarına göre konumlandırılmıştı. Tüm bunlardan sonra projeye uygun seçilmiş olan güneş panelleri dikkatli bir şekilde montajı yapılacak sehpaya taşınmalı ve sehpanın üzerine yerleştirilmelidir. Güneş panellerinin olumsuz hava

koşullarından etkilenip zarar görmemesi için sehpa üzerine uygun ekipmanlar kullanılarak montajı yapılmalıdır (Resim 1.8).



Resim 1.8: Uygun ekipmanla montajı yapılmış güneş panelleri

Güneş panellerini kurmak belirli seviyede yetenek ve bilgi gerektirir. Bu işler sadece kalifiye ve özel olarak eğitilmiş personel tarafından yapılmalıdır. Güneş ışığına maruz kalmış panelleri tutarken veya kablolarken dikkat edilmelidir. Paneller tek noktadan sabitlenmemelidir. Rüzgarlı havalarda paneller bağlantı noktalarından kurtulabilir (Resim 1.9).

Resim 1.9: Yanlış sabitleme ve ondan dolayı rüzgardan zarar gören modüller

Güneş panellerinin yerleşimi (kurulumu) için aşağıdaki yönergelere uymak gerekir:

- Panelleri ekipmanın yanına ya da yanıcı gazların çıkacağı ya da toplanacağı alanlara kurmayınız.
- Ayna ya da güneş ışığını suni olarak toplayan teçhizatları kullanmayınız.
- Mekanik ve elektriksel bileşenleri kurarken ve taşırken çocukları sistemden uzak tutunuz.
- Fotovoltaik sistemleri kurarken ve sistemlerdeki sorunları giderirken metal yüzükler, saat kayışı, kulak, dudak veya burun küpeleri ya da başka metal cihazlar taşımayınız.
- Panelin cam yüzeyinde delikler açmayınız. Bunu yapmak paneli yok eder ve garanti kapsamının dışına çıkarır.
- Panel çerçevesinde ek montajlama delikleri açmayın. Bunu yapmak paneli garanti kapsamının dışına çıkarır.
- Panelin junction box'ını ya da elektriksel levhalarını tutarak paneli yukarı kaldırmayınız.
- Panele boya ya da yapıştırıcı sürmeyiniz.
- Panelin üzerine çıkmayınız ve panele basmayınız. Camı kırma, ciddi yaralanma ya da ölüm tehlikesi vardır.
- Paneli düşürmeyiniz ya da nesnelerin panelin üzerine düşmesine izin vermeyiniz.
- Panellerin üzerine herhangi ağır nesneler yerleştirmeyiniz.
- Uygun olmayan taşıma ve kuruIum panel camına ya da panelin içindeki güneş hücrelerine zarar verebilir.

UYGULAMA FAALİYETİ

Her biri 12 voltluk 90W'lık olan 6 tane güneş panelinin paralel olarak bağlanmasını aşağıdaki işlem basamaklarına göre yapınız.

Resim 1.10: Birbirine paralel bağlı güneş panelleri

İşlem Basamakları	Öneriler
➢ Dikkatli ve talimatlara uygun bir şekilde güneş panel sisteminin olduğu yere güneş panellerini taşıyınız.	➢ İş ile ilgili güvenlik tedbirlerini alıp işe başlamadan önce baret, iş elbisesi, iş eldiveni ve iş ayakkabısı giyiniz. ➢ Çalışma ortamı için gerekli olan su terazisi, pusula, dijital açıölçer, alet takımlarını ve metreyi temin ediniz. ➢ Fotovoltaik sistemleri kurarken ve sistemlerdeki sorunları giderirken metal yüzükler, saat kayışı, kulak, dudak veya burun küpeleri ya da başka metal cihazlar taşımayınız.
➢ Güneş panellerinin + uçları kendi arasında ve – uçları da kendi arasında birleştirilerek güneş panellerinin paralel bağlantısını yapınız.	➢ Bağlantı esnasında oluşacak ark'a karşı dikkatli olunuz. ➢ Montaj esnasında panelin elektrik üretmemesi için panelin üstünü ışık geçirmez bir örtü ile örtünüz.
➢ Paralel bağlamada panellerin gerilimleri eşit olmalıdır. Aksi taktirde R direncinden geçmesi gereken akım EMK'leri küçük olan ara devrelerden geçerek istenmeyen durumlara neden olabilir.	➢ Çalışma sonlarında çalışma ortamınızın tertip, düzen ve temizliğini sağlayınız. ➢ Kullandığınız gereçlerin gerekli bakımını yaparak yerlerine yerleştiriniz.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. İş ile ilgili güvenlik tedbirlerini aldınız mı?		
2. Güneş panellerini, kurulmuş olan güneş panel sisteminin olduğu yere güvenli bir şekilde taşıdınız mı?		
3. Güneş panellerinin + ve – uçlarını kendi aralarında birleştirerek güneş panellerini paralel bağladınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda "**Hayır**" şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız "**Evet**" ise "Ölçme ve Değerlendirme"ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Güneş (solar) hücreleri seri veya paralel bağlanarak güneş modüllerini oluşturur.

2. ( ) Güneş modülleri birleşerek güneş panellerini oluşturur.

3. ( ) Büyük miktarlarda elektrik üretmek için güneş panelleri de birbirine bağlanarak solar PV hücreleri meydana getirir.

4. ( ) Monokristalin güneş pilleri verimlilik kapasitesi diğerlerine göre en yüksek olan %15-%20 arası güneş pili çeşididir.

5. ( ) Polikristalin güneş panellerinin verimlilik kapasitesi yaklaşık %34-%36 arası olup monokristalin güneş panellerine göre daha yüksektir.

6. ( ) Güneş panellerinin birinin (+) ucunu diğerinin (-) ucuna birleştirilerek yapılan bağlamaya seri bağlama denir.

7. ( ) Paralel bağlamada güneş panellerinin EMK'leri eşit olmamalıdır.

8. ( ) Güneş panelinin üzerine çıkılmaz ve panele basılmaz.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

Gerekli ortam ve donanım sağlandığında önceden hazırlanmış sehpa üzerine güneş paneli montajında güneş panel kablolamasını öğrenip yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Elektrik kabloları hakkında bilgi toplayınız.
- Kablo seçim ölçütlerini araştırıp bilgilendirme olarak diğer grup arkadaşlarınıza sununuz.

2. PANEL KABLOLAMASI

2.1. Panel Kablo Seçimi

Güneş enerjisi ile güneşten elektrik üretimi uygulamalarında, güneş pili, güneş paneli, solar panel sistemlerinde verimlilik çok önemlidir. Enerji kaybını asgari (minium) seviyede tutmak için kullanılan elektrik kablosunun iletken kesit boyutuna azami dikkat edilmelidir. Aksi hâlde ciddi verim kaybı oluşacaktır. Uygun olmayan tasarımlarda ısınma ve yangın tehlikesi bile oluşabilir. Fotovoltaik sistem kurulumunda sistemin hesaplanması ve gereken ürünlerin seçimi kolay değildir. Genelde ihmal edilen ve ihmal edilmemesi gereken bağlantı ürünlerinin önemi fazlasıyla yüksektir. Bir sistemin maliyetini incelediğiniz zaman, bağlantı parçalarının değeri ortalama ~%5 ile sınırlıdır. Fakat bağlantı ürünlerinde yanlış seçim yaptığınızda, yangın tehlikesi ile karşı karşıya kalabilir, yüksek zarara uğrayabilirsiniz ve daha önemlisi insan hayatı söz konusu olabilir.

Fotovoltaik uygulamalar için özel olarak üretilen solar tip kablolar üstün kaliteli ham maddeler ile özel olarak üretilmektedir (Resim 2.1). Enerji iletiminin özel bir önem arz ettiği fotovoltaik uygulamalarda normal kabloların kullanımı hem sistem verimini düşürmekte hem de gereken uzun ömüre sahip olmamaktadır. Özellikle uzak mesafelerde enerji taşıma söz konusu ise (20 m ve üzeri) mutlaka fotovoltaik kabloların kullanılması gerekmektedir. Bu kablolar fotovoltaik sistemlerin önemli bir parçasıdır. Fotovoltaik sistemlerin bina ve aygıt içinde veya dışında bağlantısı, yüksek mekanik yıpranma oluşan ve ağır hava şartları olan bölgeler için özel tasarlanmıştır. Solar enerji sistemlerinde kullanılan kabloların uzunluğu arttıkça, mesafeler uzadıkça ve/veya kablodan geçen akım arttıkça, iletken olması gereken kablomuzun üzerinde gerilim düşümü olur yani bir şekilde direnç oluşur. Bu noktada uygun kablo kesiti hesaplama ve uygun / yeterli özellikteki kablo seçiminin önemi ortaya çıkar.

Resim 2.1: Solar kablo

Yukarıda açıklanan üstün özellikleri nedeniyle fotovoltaik sistemlerde bu sistemler için üstün kaliteli ham maddeler ile özel olarak hazırlanmış solar (fotovoltaik) kabloların kullanılması kaçınılmazdır.

Fotovoltaik kablolar VDE 0295 / IEC60228 sınıf 5'e uygun kalaylanmış bakır iletken tel içerir. Kablonun iç kısmı ise elektronik ortamda ışınlar ile birleştirilmiş özel bir copolymerden ve etrafını saran ikinci bir polyolefine kopolimer tabakadan oluşmaktadır. Solar kabloların nominal kablo kesiti TÜV tarafından onaylanmış olmalıdır. Yoğun kablo çapı olmalı, fazla yer kaplamamalıdır. Kesinlikle uzun ömürlü ve mukavim (dayanıklı) olmalıdır.

Genel olarak fotovoltaik kablolarda olması gereken özellikler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Özel elektron ışın dokulu izolasyon ve kılıf olmalıdır.
- Aşırı sıcağa ve soğuğa dayanıklıdır.
- Yağa dayanıklıdır.
- Sürtünmelere karşı dayanıklıdır.
- Ozona karşı dayanıklıdır.
- Ultraviyole ışınlara karşı dayanıklıdır.
- Kötü hava şartlarına karşı dayanıklıdır.
- Yangına karşı daha iyi korumalı, fazla duman üretmez ve yanmaz.
- Halojen içermez.
- Çok esnektir.
- İzolasyonu kolay açılır.
- Az yer kaplar.
- Mekaniki dayanımı yüksektir.
- Sızıntı kayıplar minimum seviyededir.
- Uzun ömürlüdür.

Solar sistem iki bölüme ayrılabilir: Güneş Panel Sistemi-Akü ve Akü-Tüketici bölümlerinden oluşur. Güneş panel sistemi-Akü bölümü DC (doğru akım) bölümüdür ve genelde 12, 24 veya 48 V DC olarak kurulur. Güneş panel sistemi-Akü bölümünde güneş panelleri sayesinde üretilen elektrik akımı, şarj regülatörü üzerinden akülere depolanır. Sistemim gücü 1000 W olarak alındığında ve sistem 12 V DC olarak kurulmuş ise;

$$\boxed{P = I \cdot V}$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1000W}{17V} = \sim 58\ A$$

Burada akım; panel gücünün, panelde oluşan ve şarj regülatöründe düzeltilmemiş gerilime (17 V) bölünmesiyle hesaplanmıştır. Sistemde şarj regülatörü bulundurulmasının temel sebebi de bu çıkış geriliminin regüle edilerek akünün nominal değerde(12 V) şarj olmasını sağlamaktır. Bu sistem için seçilmesi gereken bağlantı kablosunu en az 58 A akım taşıma gücüne sahip olması gerekmektedir. Eğer 5 m uzunluğundaki yere kablo çekilmesi gerekiyorsa aşağıdaki gibi hesap yapılarak kablo kesiti bulunmalıdır.

Kablo kesitini hesaplamak için kullanılması gereken formül:

$$\boxed{S = \frac{(0{,}0175).2.L.P}{(fk.U^2)}} = \frac{(0{,}0175).2.5.1000}{(0{,}03.17^2)} = \frac{175}{8{,}67} = 20{,}18\,mm^2 \text{ bulunur.}$$

Ancak kablo tablosunda bu değere en yakın üst kablo kesiti olan 35 mm^2lik kablo kesiti kullanılır (Tablo 2.1).

S = İletken kesiti (mm^2)
fk[%] = Bakır için iletken kaybı(%3)(0,03)
0,0175 = Bakır için spesifik direnç(Ohm × mm² / m)
L = Kablo uzunluğu(m)
P = Kablo tarafından alınması gereken güç(W)
U = Güneş panel sistemi voltajı(V)

Verilen formüle göre yapılacak hesaplamalarla kullanılacak kablo kesiti bulunabilir. Formülde kullanılan veriler bilgisayar ortamında hesaplanarak pratik bir tablo oluşturulmuştur. Tablo 2.1'de 12 volt için çeşitli amper ve kablo uzunluklarında gereken ve standart olan kablo kesitleri sunulmuştur. Tabloda 2.1'de görüldüğü gibi saatte 58 A akım taşıma gücüne sahip olması gereken saatte 1 kW güç üretecek şekilde tasarlanan güneş paneli sistemi için 4 metreden uzun mesafeler için 35 mm^2 kesitinde kablo kullanılması uygun görülmektedir.

Kablo Uzunluğu [m]	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-9
Amper [A]	Kablo Kesiti [mm²]							
0-20	2,5	6	6	6	10	10	10	10
21-36	6	6	10	10	20	20	20	35
37-50	6	6	10	10	20	20	20	35
51-65	10	10	20	35	35	35	35	35
66-85	20	20	35	35	35	35	35	35
86-105	20	20	35	35	35	35	35	35
106-125	35	35	35	35	35	35	35	35
125-150	35	35	35	35	35	35	35	35
151-200	35	35	50	50	50	50	50	50

Tablo 2.1: Solar panel sistemlerinde kablo seçimi (12volt için)

2.2. Panel Kol Bağlantıları

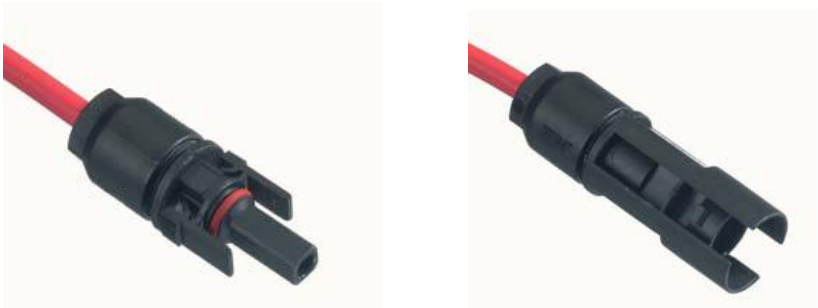
Büyük güçlerde elektrik üretmek için güneş panelleri birbirine bağlanarak solar PV dizilerini meydana getirir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş paneli birbirine paralel ya da seri bağlanır. Güneş panellerini birbirlerine bağlarken bir önceki konu olan güneş paneli kablo seçim kriterlerine uyan solar kablolar tercih edilmelidir.

Güneş panellerinin bağlantıları yapılırken solar kablo ve konnektörleri kullanılmalıdır (Resim 2.2).

TYCO ELECTRONICS		
Ürün	**Solar kablo**	**Konnektör**
Kesit	2.5; 4; 6 mm2	2.5; 4; 6 mm2
Minimum sıcaklık	-400C	-400C
Maksimum sıcaklık	1250C	1100C
Mevcut renkler	Siyah, mavi, kırmızı	Standard
Bağlantı şekilleri	-	Dişi, Erkek, T branch
Akım taşıma kapasitesi	2.5 mm2 - 41 A 4 mm2 - 55 A 6 mm2 - 70 A	25 Ampere kadar
Onay	IEC 60228 Class5 TÜV ve UL	TÜV ve UL

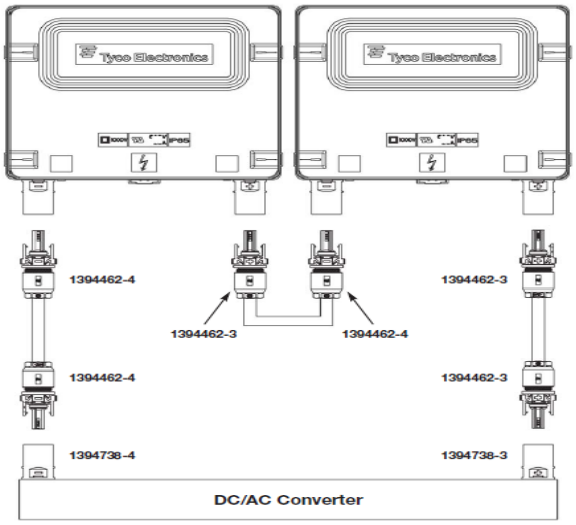
Resim 2.2: Solar kablo ve konnektör özellikleri

Güneş panellerinin birbirlerine bağlantısı yapılırken panellerin üzerindeki birleşme kutularına (junction box), dişi veya erkek konnektörler bağlanır (Resim 2.3, Şekil 2.1). Güneş panelleri birbirleriyle paralel bağlanacağı zaman paralel bağlantı konnektörleri bağlantısı kullanılır (Resim 2.4).



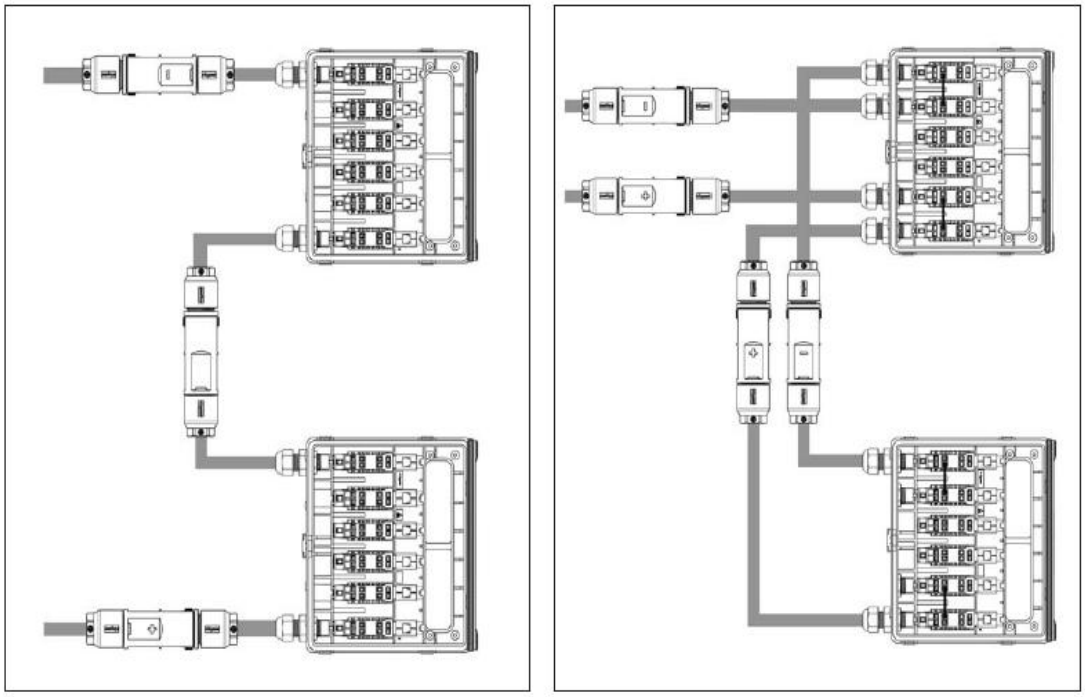
Resim 2.3: Dişi ve erkek solar kablo konnektörü

Resim 2.4: Panellere parallel bağlantı yapma konnektörü



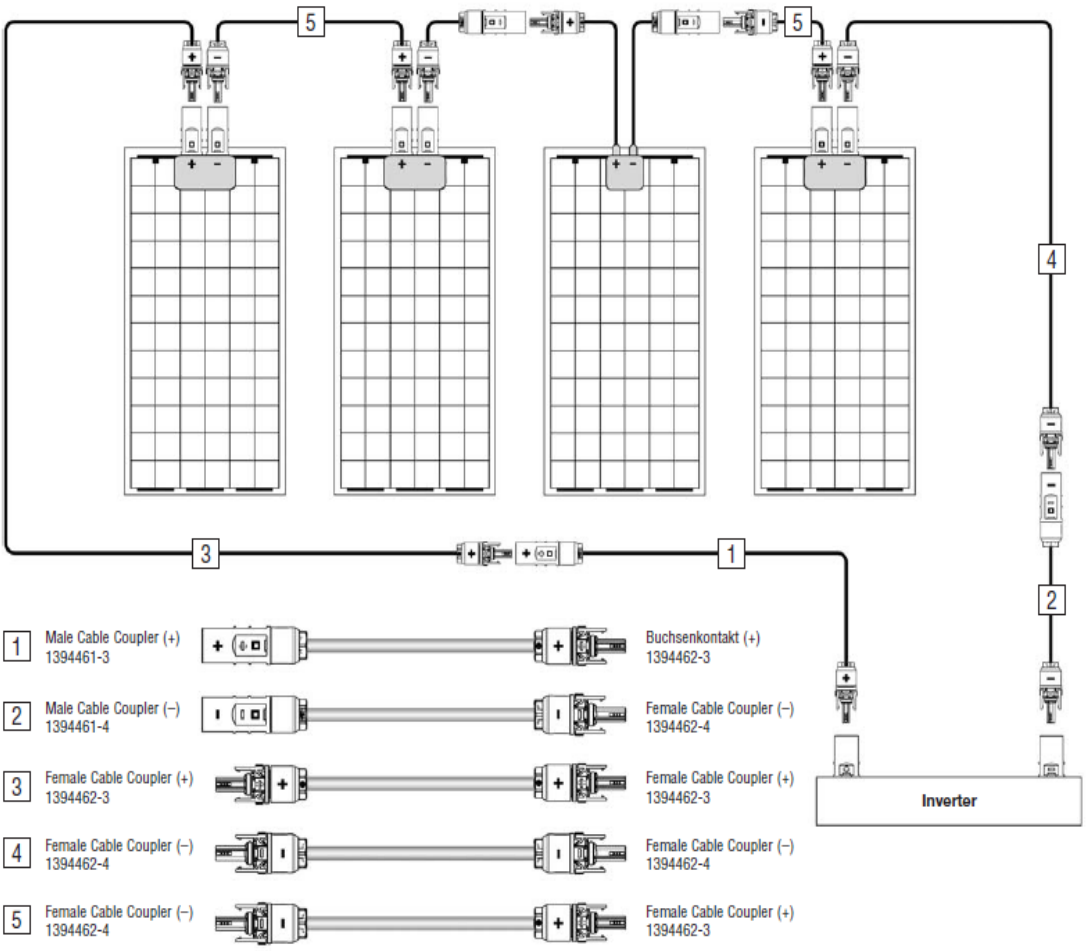
Şekil 2.1: Panellerde bulunan bağlantı kutusu (junction box) ve konnektörler

Güneş panellerinin konnektörler ile seri ve paralel kablolamasının uygulama örnekleri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Seri ve paralel kablolama örnekleri

Aşağıdaki örnekte 4 adet güneş paneli birbirine dişi ve erkek konnektörler yardımı ile seri bağlanmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Seri bağlı 4 adet güneş panelinin kablo konnektörü ile kablolama örneği

UYGULAMA FAALİYETİ

Bir evin çatısına güneş panel gücü 2000 W olan bir sistem kurulacaktır. Sistem gerilimi 24V DC olarak planlanmaktadır. Kullanılacak olan güneş panellerinde oluşan ve şarj regülatöründe düzeltilmemiş gerilim 27V DC gerilimdir. Bu sistem için seçilmesi gereken bağlantı kablosunun ne kadarlık bir akım taşıma gücüne sahip olması gerektiğini ve eğer 5 m uzunluğundaki yere kablo çekilmesi gerekiyorsa kullanılacak olan bakır kablonun kesitini hesaplayınız. fk[%] = Bakır için iletken kaybı(%3)(0,03)

Resim 2.5: Güneş paneli kurulumu

I=? , S=?

$$\boxed{P = I \,.\, V}$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{2000W}{27V} = 74{,}07A$$

Kablo kesitini hesaplamak için kullanılması gereken formül:

$$\boxed{S = \frac{(0{,}0175).2.L.P}{(fk.U^2)}} = \frac{(0{,}0175).2.5.2000}{(0{,}03.27^2)} = \frac{350}{21{,}87} = 16\,mm^2 \text{ bulunur.}$$

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. Yapılacak hesaplama için gerekli olan formülleri belirlediniz mi?		
2. Yapılmış olan hesaba göre bağlantı kablosunun taşıyacağı akım değerini buldunuz mu?		
3. Yapılmış olan hesaba göre bağlantı kablosunun kesitini buldunuz mu?		
4. En son yapılmış olan hesapları kontrol ettiniz mi?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda "**Hayır**" şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız "**Evet**" ise "Ölçme ve Değerlendirme"ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Bir sistemin maliyetini incelediğiniz zaman bağlantı parçalarının değeri ortalama ~%5 ile sınırlıdır.

2. ( ) Fotovoltaik uygulamalar için özel olarak üretilen solar tip kablolar üstün kaliteli ham maddeler ile özel olarak üretilmektedir.

3. ( ) Özellikle kısa mesafelerde enerji taşıma söz konusu ise mutlaka fotovoltaik kabloların kullanılması gerekmektedir.

4. ( ) Solar enerji sistemlerinde kullanılan kabloların uzunluğu arttıkça, mesafeler uzadıkça ve/veya kablodan geçen akım arttıkça, iletken olması gereken kablomuzun üzerinde gerilim düşümü olur.

5. ( ) Fotovoltaik kablolar VDE 0295 / IEC60228 sınıf 5'e uygun altın iletken tel içerir.

6. ( ) Fotovoltaik kablolar aşırı sıcağa ve soğuğa dayanıklı olmalıdır.

7. ( ) Güneş panellerinin bağlantıları yapılırken solar kablo ve konnektörleri kullanılmalıdır.

8. ( ) Güneş panellerinin birbirlerine bağlantısı yapılırken panellerin üzerindeki birleşme kutularına (junction box), dişi veya erkek konnektörler bağlanır.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise modül değerlendirmeye geçiniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

1. Güneş modülleri birleşerek güneş ……. oluşturur.

2. ……. güneş pilleri verimlilik kapasitesi diğerlerine göre en yüksek olan %15-%20 arası güneş pili çeşididir.

3. Güneş panellerinin birinin (+) ucunu diğerinin (-) ucuna birleştirilerek yapılan bağlamaya …….. bağlama denir.

4. …….. bağlamada güneş panellerinin EMK'leri eşit olmalıdır.

5. Fotovoltaik kablolar VDE 0295 / IEC60228 sınıf 5'e uygun ……. iletken tel içerir.

6. Güneş panellerinin bağlantıları yapılırken solar kablo ve …… kullanılmalıdır.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuların faaliyetlerine geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Doğru
3	Yanlış
4	Doğru
5	Yanlış
6	Doğru
7	Yanlış
8	Doğru

ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Doğru
3	Yanlış
4	Doğru
5	Yanlış
6	Doğru
7	Doğru
8	Doğru

MODÜL DEĞERLENDİRMENİN CEVAP ANAHTARI

1	Panellerini
2	Monokristalin
3	Seri
4	paralel
5	Bakır
6	Konnektörleri

KAYNAKÇA

- http://www.californiasolarcenter.org (12.03.2012 / 14:05)
- UĞUR Ekin Moral, **Güneş Pillerinin Yapı Kabuk Elemanları ile Bütünleştirilmeleri**, İTÜ Yayınları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2006.
- SAYIN Selçuk, **Yenilenebilir Enerjinin Ülkenin Yapı Sektöründe Kullanımının Önemi ve Yapılarda Güneş Enerjisinden Yararlanma Olanakları**, Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2006.